

Aplikasi Limbah Cair Pabrik terhadap Keharaan Tanah dan Tanaman serta Pengaruhnya terhadap Produksi Kelapa Sawit di Tanah Pasiran

Application of Factory Liquid Waste to Soil and Plant Nutrients and Its Effect on Palm Oil Production in Sandy Soil

Sri Gunawan*, Wahyu Hidayat, Harsunu Purwoto, Herry Wirianata, Rengga Arnalis Renjani

Institut Pertanian Stiper, Sleman, 55282 Yogyakarta, Indonesia

Received March 7, 2024; Accepted April 20, 2024

ABSTRACT

Management of sandy soil in oil palm plantations requires location-specific technology that prioritizes sustainability principles. Palm oil mill Effluent (POME) has the potential to be a substitute for nutrients for oil palm plantations. This research aims to reveal the role of POME in improving soil and tissue nutrient status and increasing oil palm production on sandy soil. The research was conducted on eleven plantation blocks using POME and six blocks without by-products (30 ha block⁻¹, sandy soil) of 12-13 years palm. Observations were carried out for 3 years, including harvest tonnage, number and weight of fresh fruit bunches (FFB) of palm oil, soil, and tissue nutrient content (N, P, K, Mg, Ca, Cu, and B), CEC, and soil organic carbon. The research results show that POME flatbed system application can increase the nutrient content, pH, CEC, and soil organic carbon in the low to medium range. This application can also increase the tissue nutrient content to the optimal range. Production, quantity, and weight of oil palm FFB on sandy soil applied by POME were increased compared to those without by-product application. This application can also reduce monthly fluctuations in palm oil production on sandy soil.

Keywords: POME, Production, Sandy soil; Soil nutrients; Tissue

Cite this as (CSE Style): Gunawan S, Hidayat W, Purwoto, H, Wirianata H, Renjani RA. 2024. Aplikasi limbah cair pabrik terhadap keharaan tanah dan tanaman serta pengaruhnya terhadap produksi kelapa sawit di tanah pasiran. *Agrotechnology Res J.* 8(1):43–48. <https://dx.doi.org/10.20961/agrotechresj.v8i1.91881>.

PENDAHULUAN

Kelapa sawit merupakan tanaman penting yang diusahakan di Asia Tenggara, Afrika dan Amerika Latin. Tanaman ini menghasilkan minyak 3-8 kali lebih banyak daripada kanola, bunga matahari, kedelai dan *rapeseed* (Barcelos et al. 2015). Hasil yang tinggi dan biaya produksi yang rendah menyebabkan kelapa sawit menjadi tanaman yang paling menguntungkan (Dislich et al. 2017). Indonesia dan Malaysia menguasai 85% produksi minyak sawit dunia (Yudha dan Bagaskara 2022). Kebutuhan minyak sawit dunia diproyeksikan mengalami peningkatan seiring dengan kelangkaan energi fosil (meningkatnya permintaan bahan bakar nabati) dan diversifikasi produk hilirnya. Luas Perkebunan kelapa sawit di Indonesia mencapai 16,382 juta hektar, peningkatan signifikan terjadi selama 1998-2008 (Advent et al. 2021) dan mengalami perlambatan dengan menguatnya isu-isu lingkungan dalam perdagangan minyak sawit dunia.

Kelapa sawit diusahakan dalam berbagai jenis tanah di Indonesia dengan tingkat kesesuaian lahan yang bervariasi, termasuk pada tanah pasiran yang luasnya mencapai 1,5 juta hektar di Kalimantan Tengah dan Kalimantan Barat. Tanah pasiran umumnya dikategorikan sebagai tanah marginal karena keterbatasan sifat fisik, kimia dan biologi dari aspek persyaratan optimum untuk pertumbuhan dan produksi kelapa sawit (Siregar et al. 2023). Oleh karena itu, diperlukan *best management practices* dalam pengelolaan tanah pasiran. Pupuk dan air merupakan faktor utama penentu produktivitas kelapa sawit (Ginting dan Prasetyo 2019; Monita dan Zebua 2023). Harga pupuk terus mengalami peningkatan sementara itu efektivitas serapan pupuk selama ini masih rendah. Di lain pihak, perubahan iklim menjadi ancaman besar bagi perkebunan kelapa sawit di Asia Tenggara (Paterson 2020), sehingga diperlukan kultur teknis spesifik lokasi.

Selain minyak sawit dan minyak inti sawit, perkebunan kelapa sawit menghasilkan beragam *co-product* dan memberikan beragam pilihan untuk proses daur ulang, mengurangi masukan eksternal, dan berkontribusi sebagai substitusi energi fosil (Paltseva et al. 2016). Di samping itu, ada kebutuhan internal agroekosistem perkebunan kelapa sawit untuk

*Corresponding Author:
E-Mail: sriegun@instiperjogja.ac.id

menggantikan energi fosil dan mengurangi pemakaian pupuk anorganik (Carron et al. 2015). Ketergantungan terhadap pupuk organik meningkat dengan mengurangi penggunaan pupuk anorganik (Boafo et al. 2020), antara lain karena harga pupuk yang terus meningkat dan implementasi prinsip-prinsip keberlanjutan dalam pengelolaan kebun. Tandan buah segar (TBS) akan menghasilkan beragam biomassa dalam bentuk padatan 35-40% (Susanto et al. 2017) dan cairan (LCKPS, limbah cair pabrik kelapa sawit) 60-70% (Fairhurst et al. 2019) atau setiap ton TBS menghasilkan 2,5 m³ limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS) (Hazmi et al. 2016).

LCPKS merupakan *by-product* cair pabrik kelapa sawit mempunyai konsentrasi nitrat, BOD dan COD tinggi, sehingga harus diperlakukan terlebih dahulu sebelum dapat dipergunakan sebagai pupuk organik (Yuniarti et al. 2019; Poh et al. 2020; Viena et al. 2023). *Land application* merupakan cara aplikasi yang umum dipergunakan selama ini di perkebunan kelapa sawit. Aplikasi LCPKS melalui sistem irigasi curah, *furrow*, *flatbed* dan *longbed* atau diecer di lahan mempergunakan truk tangki (Fairhurst dan Hardter 2003). Penelitian mengungkapkan aplikasi LCPKS dapat meningkatkan produksi kelapa sawit dengan tingkat yang bervariasi, tergantung pada dosis dan frekuensi aplikasi dan jenis tanah (Corley dan Tinker 2015). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh aplikasi LCPKS terhadap kandungan hara jaringan dan produksi kelapa sawit pada tanah pasiran.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan di perkebunan kelapa sawit PT Karya Bakti Sejahtera (Bumi Tama Gunajaya Agro) di Kabupaten Ketapang, Kalimantan Barat selama satu tahun (Januari-Desember 2023). Perlakuan yang diteliti adalah: dengan dan tanpa aplikasi LCPKS mempergunakan rancangan acak lengkap. Aplikasi *by-product* ini pada 11 blok dan yang tidak diaplikasi pada 6 blok kebun (luas 30 ha per blok) umur 12-13 tahun. Blok sampel mempunyai tanah pasiran. Aplikasi mempergunakan sistem *flatbed* dengan ukuran rorak panjang x lebar x tinggi = 4 x 2 x 0,5 m yang dilakukan tiga kali setahun. Posisi *flatbed* di gawangan mati sehingga dapat diakses secara merata oleh sistem perakaran yang berada dalam zona tersebut. Di samping itu, aplikasi pupuk organik sesuai rekomendasi berdasarkan *leaf sampling unit* dan *soil sampling unit*. Sebagai kontrol (tanpa LCPKS) diberikan pupuk anorganik.

Respons yang diamati dalam penelitian ini meliputi kandungan N, P, K, Mg, Ca, Cu, dan B dalam tanah dan daun. Di samping itu, diukur kapasitas tukar kation (KTK), pH dan C organik tanah. Komponen hasil yang diamati meliputi jumlah tandan buah segar (TBS), berat dan tonase panen TBS selama dua tahun (2022-2023). Analisis ragam dipergunakan untuk hasil penelitian dan status kekharaan tanah maupun jaringan ditetapkan berdasarkan Fairhurst et al. (2019) seperti pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Standar status hara tanah untuk perkebunan kelapa sawit (Fairhurst et al. 2019)

Parameter	Sangat rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat tinggi
pH	<3,5	4,0	4,2	5,5	>5,5
C-org (%)	<0,8	1,2	1,5	2,5	>2,5
N total (%)	<0,008	0,12	0,15	0,25	>0,25
P tersedia (ppm)	-	15,0	20	25	>25
P total (ppm)	<120	200	250	400	>400
Mg-dd (cmol.kg ⁻¹)	<0,08	0,20	0,25	0,30	>0,3
K-dd (cmol.kg ⁻¹)	<0,08	0,20	0,25	0,30	>0,3
KTK	<6	12	12	18	>18

Tabel 2. Standar status hara daun untuk perkebunan kelapa sawit (Fairhurst et al. 2019)

Hara	Satuan	Kahat	Optimum	Berlebih
N	% BK	<2,3	2,4-2,80	>3,00
P	% BK	<0,14	0,15-0,18	>0,25
K	% BK	<0,75	0,90-1,20	>1,60
Mg	% BK	<0,20	0,25-0,40	>0,70
Ca	% BK	<<0,25	0,50-0,75	>1,00
S	% BK	<0,20	0,25-0,35	>0,60
Cl	% BK	<0,25	0,50-0,70	>1,00
B	% BK	<8	15-2,5	>40
Cu	% BK	<3	5-8	>15
Zn	% BK	<10	12-18	>80

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi LCPKS pada umumnya dapat meningkatkan kandungan hara tanah berikut: N (225%) dan P total (0,14%), Ca (49,94%), Mg (132,50%) dan K (137,50%) dibanding dengan kandungan hara tanah yang sama pada blok tanpa aplikasi LCPKS. Demikian pula untuk pH (58,75%) dan C-organik (304,54%) serta KTK (386,75%) tanah seperti yang disajikan dalam Tabel 3.

Meskipun demikian, peningkatan kandungan hara-hara tersebut dalam tanah pasir an akibat aplikasi LCPKS masih dalam status rendah dan sedang (Corley dan Tinker 2015).

Aplikasi LCPKS yang dapat meningkatkan pH, C organik dan KTK sebesar 58,75, 304,54, dan 363.975,90%. Aplikasi LCPKS berpengaruh besar terhadap efektivitas penyediaan dan penyerapan hara pada tanah pasir an yang selama ini menjadi kendala dalam pengelolaan tanah tersebut. Peningkatan kandungan C organik berkontribusi terhadap pembentukan pori mikro dan meso, sehingga dapat memperbaiki kemampuan tanah pasir an menambah air (McCarthy et al. 2016).

Hasil analisis menunjukkan aplikasi LCPKS dapat meningkatkan kandungan hara N, P, Mg, Ca dan B dalam daun kelapa sawit yang dibudidayakan di tanah pasir an berturut-turut sebesar 2,68, 6,25, 18,52, 6,94%, dan 7,945%. Sebaliknya kandungan K daun lebih rendah pada blok yang diaplikasi LCPKS (Tabel 4). Mengacu ke Fairhurst et al. (2019) aplikasi LCPKS tersebut dapat meningkatkan kandungan hara daun dalam status optimum. Hasil ini sesuai dengan penelitian sebelumnya Poh et al. (2020) yang menunjukkan bahwa kandungan hara daun akibat aplikasi LCPKS dapat memperbaiki status hara dalam daun dalam kisaran optimum pada tanah mineral. Diketahui juga bahwa aplikasi *by-product* ini menghasilkan kandungan K dan Cu yang lebih rendah dibanding dengan yang tanpa aplikasi, namun statusnya tetap dalam kisaran optimum juga. Peningkatan bahan organik dan KTK akibat aplikasi LCPKS dapat memperbaiki serapan hara tanah yang selanjutnya mencukupi kebutuhan hara untuk metabolisme yang berkontribusi terhadap pertumbuhan, perkembangan dan produksi kelapa sawit (Ramadhan et al. 2021). Peningkatan proses-proses tersebut ditunjang oleh status hara jaringan daun yang optimum (Marschner 2012; Taiz dan Zeiger 2010).

Dalam status optimum, terjadi sinergisitas antar N, P, K, Ca, Cu, Mg dan B dalam sel tanaman. Unsur hara N, P dan Mg berhubungan erat dengan sintesis protein dan kandungan klorofil daun, sehingga proses fotosintesis berlangsung dengan lebih bagus (Yama dan Kartiko 2020). Kalium (K) berperan fungsional dalam mendukung proses fotosintesis dan metabolisme lain termasuk meningkatkan toleransi tanaman terhadap pengaruh defisit air (Marschner 2012) yang sering dialami tanah pasir an perkebunan kelapa sawit.

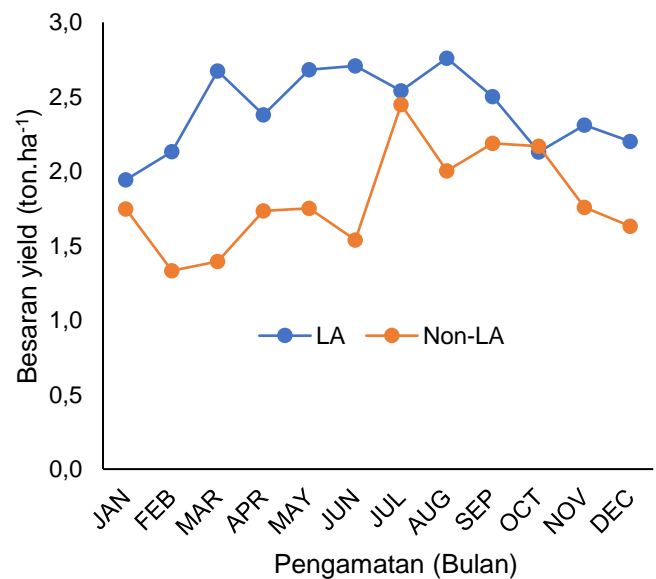
Tabel 4 menunjukkan juga kandungan K dan Cu sedikit lebih rendah pada blok kebun yang diaplikasi LCPKS. Kedua unsur hara ini berperan fungsional dalam serangkaian metabolisme yang berkontribusi untuk

peningkatan hasil kelapa sawit. K dan Cu berperan penting dalam aktivitas banyak enzim (Taiz dan Zeiger 2010), sehingga metabolisme K dalam jaringan lebih baik akibat meningkatnya kandungan hara daun hasil aplikasi LCPKS.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa komponen produksi (*yield*, rerata berat TBS dan jumlah TBS) kelapa sawit pada blok ng diaplikasi LCPKS lebih tinggi dibandingkan tanpa aplikasi *by-product* tersebut pada Tabel 5. Aplikasi LCPKS tiga kali setahun selama enam tahun yang telah memperbaiki status hara jaringan selanjutnya dapat mendukung proses metabolisme yang berkontribusi terhadap komponen *yield*. Komponen produksi ditentukan oleh tiga tahap yang merupakan fase kritis pengelolaan perkebunan kelapa sawit, yaitu determinasi seks, aborsi bunga dan gagal tandan yang berturut-turut terjadi 32-20, 12-8, dan 4-6 bulan sebelum panen TBS (Adam et al. 2011a). Tahapan tersebut peka terhadap pengaruh cekaman air, nutrisi, dan *endogenous internal factor* (Monzon et al. 2022).

Selain meningkatkan komponen produksi kelapa sawit di tanah pasir an, aplikasi LCPKS dapat memperkecil fluktuasi bulanan semua komponen produksi yang diamati seperti Gambar 1, Gambar 2, dan Gambar 3. Selain memperkecil fluktuasi produksi, LCPKS dapat mempertahankan tingkat produksi bulanan di atas blok tanpa aplikasi *by-product* ini.

Sebagai komponen produksi kelapa sawit, rerata berat dan jumlah TBS bulanan selama tiga tahun lebih tinggi dan fluktuasinya lebih kecil pada blok yang diaplikasi LCPKS (Gambar 2 dan Gambar 3). Aplikasi periodik LCPKS dapat berperan meningkatkan toleransi kelapa sawit terhadap faktor tanah pasir an. LCPKS yang mengandung air selain hara dapat mengurangi dampak negatif kekurangan air selama musim kemarau, padahal tanah pasir an cepat mengalami cekaman kekeringan.



Gambar 1. Pengaruh aplikasi LCPKS terhadap produksi bulanan kelapa sawit pada tanah pasir an

Tabel 3. Pengaruh aplikasi LCPKS sifat kimia tanah pasiran perkebunan kelapa sawit

LCPKS	pH	C org (%)	N total (%)	P tersedia (ppm)	P total (ppm)	Ca-dd (cmol.kg ⁻¹)	Mg-dd (cmol.kg ⁻¹)	K-dd (cmol.kg ⁻¹)	KTK (cmol.kg ⁻¹)
Dengan	3,81	1,78	0,13	9,07	28,67	0,47	0,19	0,18	4,04
Tanpa	2,40	0,44	0,04	16,48	28,33	0,24	0,08	0,07	0,83
Selisih	1,41	1,34	0,09	-0,7,41	0,34	0,23	0,11	0,10	3,21

Keterangan LCPKS= limbah cair pabrik kelapa sawit.

Tabel 4. Pengaruh aplikasi LCPKS terhadap kandungan hara daun kelapa sawit pada tanah pasiran

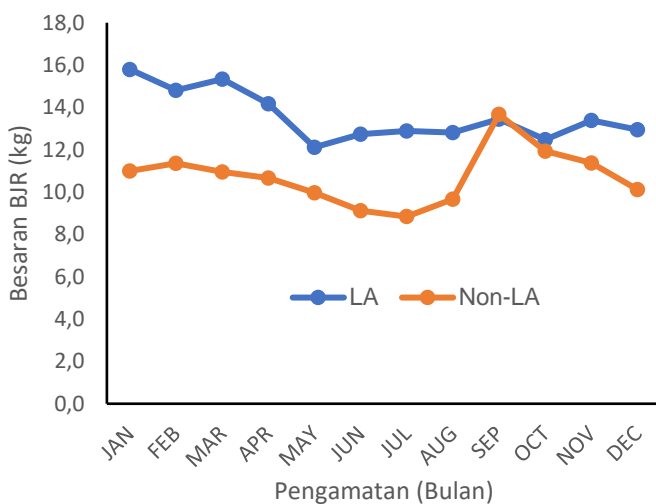
LCPKS	N (%)	P (%)	K (%)	Mg (%)	Ca (%)	B (ppm)	Cu (ppm)
Dengan	2,73	0,17	1,02	0,32	0,77	19,83	4,83
Tanpa	2,58	0,16	1,07	0,27	0,72	18,38	5,13
Selisih	0,15	0,01	-0,05	0,05	0,05	1,45	-0,3

Keterangan: LCPKS= limbah cair pabrik kelapa sawit.

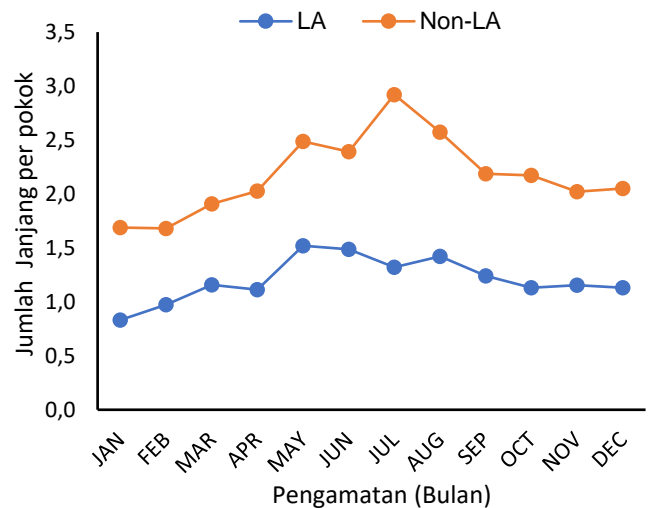
Tabel 5. Pengaruh aplikasi LCPKS terhadap komponen produksi kelapa sawit pada tanah pasiran

LCPKS	Produksi (ton ⁻¹ .ha ⁻¹ .tahun ⁻¹)			Berat TBS (kg ⁻¹ .pohon ⁻¹ .tahun ⁻¹)			Jumlah TBS (TBS.pohon ⁻¹ .tahun ⁻¹)		
	2022	2023	Rerata	2022	2023	Rerata	2022	2023	Rerata
Dengan	30,42	28,45	29,44 a	13,18	13,94	13,56 a	15,72	12,68	14,20 a
Tanpa	24,85	28,28	26,57 b	12,94	12,98	12,96 b	13,07	14,90	13,99 b

Keterangan: rerata yang diikuti huruf yang sama dalam kolom menunjukkan antar perlakuan tidak berbeda nyata berdasar uji beda nyata terkecil 5 persen, LCPKS= limbah cair pabrik kelapa sawit. TBS= tandan buah segar.



Gambar 2. Pengaruh aplikasi LCPKS terhadap berat TBS bulanan kelapa sawit pada tanah pasiran



Gambar 3. Pengaruh aplikasi LCPKS terhadap jumlah TBS bulanan kelapa sawit pada tanah pasiran

Tanah pasiran cepat mengalami kekurangan air mengakibatkan *drought stress* yang menjadi faktor pembatas utama pengelolaan perkebunan kelapa sawit di tanah ini. Padahal Paterson (2023), mengemukakan bahwa perubahan iklim berpotensi menurunkan produksi kelapa sawit, terutama untuk wilayah Asia Tenggara, sehingga diperlukan kultur teknis yang dapat mereduksi dampaknya. Hasil penelitian ini menunjukkan kandungan K tanah yang tinggi dan kandungan K jaringan yang lebih rendah dalam blok kebun yang diaplikasikan LCPKS mengungkapkan peran penting unsur ini dalam metabolisme tanaman ini. (Fairhurst dan Hardter 2003), menyatakan bahwa K dapat mengurangi dampak negatif kekurangan air pada kelapa sawit. Unsur ini dapat memperbaiki konduktansi stomata pada kondisi kekurangan air (Sonali et al. 2023), mereduksi pengaruh buruk *reactive oxygen species* selama musim kemarau (Hasanuzzaman et al. 2018). sehingga dapat menunda senesensi dini pelepah kelapa sawit.

KESIMPULAN

Land application LCPKS sistem *flatbed* dapat memperbaiki status hara tanah dan hara jaringan kelapa sawit di tanah pasiran. Peningkatan kandungan hara tanah berturut-turut N (225%) dan P total (0,14%), Ca (49,94%), Mg (132,50%) dan K (137,50%), sedangkan peningkatan kandungan hara daun berturut-turut N (2,68%) P (6,25%), Mg (18,52%) , Ca (6,94%) dan B (7,945%). LCPKS dapat meningkatkan produksi kelapa sawit, baik tonase panen (10,80%), jumlah TBS (1,50%) maupun berat TBS (4,63%). Di samping itu, LCPKS dapat mereduksi fluktuasi produksi bulanan kelapa sawit di tanah pasiran.

DAFTAR PUSTAKA

- Adam H, Collin M, Richaud F, Beulé T, Cros D, Omoré A, Nodichao L, Nouy B, Tregear JW. 2011. Environmental regulation of sex determination in oil palm: Current knowledge and insights from other species. *Ann Bot.* 108(8):1529–1537. <https://doi.org/10.1093/aob/mcr151>.
- Advent R, Zulghani Z, Nurhayani N. 2021. Analisis faktor-faktor yang mempengaruhi ekspor minyak kelapa sawit di Indonesia Tahun 2000-2019. *e-Journal Perdagangan Ind dan Monet.* 9(1):49–58. <https://doi.org/10.22437/pim.v9i1.13652>.
- Barcelos E, De Almeida Rios S, Cunha RNV, Lopes R, Motoike SY, Babychuk E, Skiryecz A, Kushnir S. 2015. Oil palm natural diversity and the potential for yield improvement. *Front Plant Sci.* 6(MAR):1–16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00190>.
- Boafo DK, Kraisorpornson B, Panphon S, Owusu BE, Amaniampong PN. 2020. Effect of organic soil amendments on soil quality in oil palm production. *Appl Soil Ecol.* 147:103358. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.09.008>.
- Carron MP, Pierrat M, Snoeck D, Villenave C, Ribeyre F, Suhardi, Marichal R, Caliman JP. 2015. Temporal variability in soil quality after organic residue application in mature oil palm plantations. *Soil Res.* 53(2):205–215. <https://doi.org/10.1071/SR14249>.
- Corley RHV, Tinker PB. 2015. *The oil palm.* 5th ed. Oxford (EN): Jhon Wiley and Sons.
- Dislich C, Keyel AC, Salecker J, Kisel Y, Meyer KM, Auliya M, Barnes AD, Corre MD, Darras K, Faust H, et al. 2017. A review of the ecosystem functions in oil palm plantations, using forests as a reference system. *Biol Rev.* 92(3):1539–1569. <https://doi.org/10.1111/brv.12295>
- Fairhurst T, Griffiths W, Rankine I. 2019. *TCCL field handbooks: Oil palm-agronomy.* Kent (EN): Tropical Crop Consultants Limited.
- Fairhurst Thomas, Hardter R. 2003. *Oil palm: Management for large and sustainable yields.* Fairhurst Th., Härdter R, editor. Canada (CA): International Plant Nutrition Institute.
- Ginting C, Prasetyo D. 2019. Produktivitas kebun kelapa sawit dengan aplikasi berbagai kombinasi pupuk dan janjang kosong pada lahan pasiran. *Agroista J Agroteknologi.* 3(1):44–55.
- Hasanuzzaman M, Bhuyan M, Nahar K, Hossain M, Mahmud J, Hossen M, Masud A, Moumita, Fujita M. 2018. Potassium: A vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. *Agronomy.* 8(3):31. <https://doi.org/10.3390/agronomy8030031>.
- Hazmi A, Desmiarti R, Waldi EP, Emeraldi P. 2016. Preliminary study on treatment of palm oil mill effluent by sand filtration-dielectric barrier discharge system. *J Eng Technol Sci.* 48(1):21–30. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2016.48.1.3>.
- Marschner P. 2012. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants.* 3rd ed. Cambridge (US): Elsevier.
- McCarthy B, Liu HB, Chen T. 2016. Innovations in the agro-food system: Adoption of certified organic food and green food by Chinese consumers. *Caiazza, Tiziana Volpe, John L. Sta R, editor. Br Food J.* 118(6):1334–1349. <https://doi.org/10.1108/BFJ-10-2015-0375>.
- Monita CF, Zebua DDN. 2023. Faktor-faktor yang mempengaruhi produktivitas kelapa sawit di PT. Mustika Agung Sentosa. *J Manaj Agribisnis.* 11(1):229–241. <https://doi.org/10.24843/jma.2023.v11.i01.p18>.
- Monzon JP, Jabloun M, Cock J, Caliman JP, Couédel A, Donough CR, Vui PHV, Lim YL, Mathews J, Oberthür T, et al. 2022. Influence of weather and endogenous cycles on spatiotemporal yield variation in oil palm. *Agric For Meteorol.* 314:108789. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108789>.
- Paltseva J, Searle S, Malins C. 2016. Potential for advanced biofuel production from palm residues in Indonesia. *Intenational Counc Clean Transp.*(June):1–17.
- Paterson RRM. 2020. Oil palm survival under climate change in Kalimantan and alternative SE Asian palm oil countries with future basal stem rot assessments. *For Pathol.* 50(4):12604. <https://doi.org/10.1111/efp.12604>.

- Paterson RRM. 2023. Future climate effects on yield and mortality of conventional versus modified oil palm in SE Asia. *Plants*. 12(12):2236. <https://doi.org/10.3390/plants12122236>.
- Poh PE, Wu TY, Lam WH, Poon WC, Lim CS. 2020. Waste management in the palm oil industry: Plantation and milling processes. Cham (CH): Springer International Publishing (Green Energy and Technology).
- Ramadhan R, Tampubolon G, Ermadani E. 2021. Pengaruh pemberian limbah cair pabrik kelapa sawit terhadap beberapa sifat kimia tanah dan pertumbuhan bibit kelapa sawit pada pembibitan utama. *J Silva Trop*. 5(1):339–356. <https://doi.org/10.22437/jsilvtrop.v5i1.12429>.
- Siregar RS, Khusrizal, Yusra, Nasruddin. 2023. Improving the chemical quality of sandy-textured soil and shallot (*Allium cepa* L.) yields using biochar and clay. *J Ilm Pertan*. 20(2):175–186. <https://doi.org/10.31849/jip.v20i2.13760>
- Sonali, Huda S, Jayasena V, Ahmed T, Chen ZH. 2023. Potassium transport and use efficiency for sustainable fertigation in protected cropping. *J Sustain Agric Environ*. 2(3):346–356. <https://doi.org/10.1002/sae2.12065>.
- Susanto JP, Santoso AD, Suwedi N. 2017. Perhitungan potensi limbah padat kelapa sawit untuk sumber energi terbaharukan dengan Metode LCA. *J Teknol Lingkung*. 18(2):165–172. <https://doi.org/10.29122/jtl.v18i2.2046>.
- Taiz L, Zeiger E. 2010. Plant physiology. 5th ed. Sunderland (EN): Sinauer Associates Inc.
- Viena V, Bahagia B, Nurlaini N, Juanda R. 2023. Efektivitas penurunan COD, BOD dan TSS limbah industri sawit menggunakan koagulan kimia dan ekstrak alami pati pelepah sawit. *J Serambi Eng*. 8(1):4931–4939.
- Yama DI, Kartiko H. 2020. Pertumbuhan dan Kandungan klorofil pakcoy (*Brassica rapa* L) pada beberapa konsentrasi AB Mix dengan Sistem Wick. *J Teknol*. 12(1):21–30.
- Yudha EP, Bagaskara F. 2024. Analisis daya saing ekspor kelapa sawit (CPO) Indonesia dan Malaysia di India. *J Ilm Mhs Agroinfo Galuh*. 11(2):1212–1227.
- Yuniarti DP, Komala R, Aziz S. 2019. Pengaruh proses aerasi terhadap pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit di PTPN VII secara aerobik. *J Redoks*. 4(2):7–16.